



Возможности спутниковой спектрофотометрической оценки объемов эмиссии малых газов в атмосферу при сжигании углеводородного газа в факелах

Ф. Г. Агаев, И. Х. Асадов

Национальное аэрокосмическое агентство,
г. Баку, Азербайджанская Республика

Статья посвящена вопросам усовершенствования разработанных ранее методов спутникового спектрофотометрического контроля объемов сжигаемого в факелах углеводородных газов путем оценки и регистрации увеличения содержания в атмосфере малых газов. Предложен новый способ определения объемов эмитируемых в атмосферу газов NO_2 и SO_2 при сжигании попутного углеводородного газа. Для реализации предложенного способа может быть использован бортовой ИК спектрорадиометр VIIRS и бортовой спектрорадиометр типа OMI или другие аналогичные приборы. Перед вычислением концентраций эмитируемых в атмосферу газов NO_2 и SO_2 определяют источник их появления: относятся ли результаты спектрофотометрических измерений исключительно к факелу сжигания попутного углеводородного газа или к работе дизельных двигателей. Используя критерий детектирования в виде отношения исходно вычисленных значений объемов NO_2 и SO_2 , определяют источник эмиссии. По признакам принадлежности

On the Possibility of Satellite Spectrophotometric Estimation of the Volume of the Trace Gase Emission Into the Atmosphere During the Hydrocarbon Gas Flaring

F. G. Agaev, I. H. Asadov

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

The article is devoted to the improvement of previously developed methods of satellite spectrophotometric control of volumes of hydrocarbon gases burned in flares by assessing and registering an increase in the content of trace gases in the atmosphere. A new method for determining the volumes of gases NO_2 and SO_2 emitted into the atmosphere during the combustion of associated hydrocarbon gas is proposed. To implement the proposed method, an on-board IR spectroradiometer VIIRS and an on-board spectroradiometer of the OMI type or other similar devices can be used. Before calculating the concentrations of gases NO_2 and SO_2 emitted into the atmosphere, the source of their occurrence is to be determined: whether the results of spectrophotometric measurements relate exclusively to the flaring of the associated hydrocarbon gas or to the operation of diesel engines. Using the detection criterion in the form of the ratio of the initially calculated values of the volumes NO_2 and SO_2 , the source of the emission is determined: Based on belong of the sources to the associated hydrocarbon gas flaring or to the operation of diesel engines, the measurement results will contribute to the monitoring of oil and gas production zones where significant anomalies in the concentration of trace gases are observed.



источников к факелу сжигания попутного углеводородного газа или к работе дизельных двигателей результаты измерений дадут вклад в мониторинг нефтегазопроизводственных зон, где наблюдаются существенные аномалии концентрации малых газов.

Ключевые слова: газовый факел, спектрорадиометр, спутниковый контроль, малые газы, атмосфера

Статья поступила в редакцию: 19.04.2022

Статья принята к публикации: 13.06.2022

Хорошо известно, что согласно Парижскому соглашению для уменьшения эмиссий углерода в атмосферу, должны быть приняты меры по строгому контролю над объемами сжигаемого в факелах углеводородного газа [1,2]. Согласно [3], такой контроль может быть осуществлен путем организации независимых измерений концентраций в атмосфере малых газов, эмитируемых при сжигании углеводородного природного газа. Измерения концентрации таких малых газов, как NO_2 , SO_2 и др., в атмосфере в настоящее время осуществляются как спутниковыми [4, 5], так и наземными средствами [6].

Актуальность изучения содержания указанных малых газов в атмосфере заключается в том, что NO_2 и SO_2 являются основными реактивными малыми газами, а также основными источниками возникновения вторичных аэрозолей и тропосферного озона [7]. Согласно результатам проведенных экспериментальных исследований, в нефтегазопроизводственных зонах наблюдаются существенные аномалии концентрации указанных малых газов [8]. Как отмечается в работе [7], в принципе NO_2 и SO_2 эмитируются как при сжигании попутного углеводородного газа, так и при работе дизельных двигателей. Содержание серы в этих двух источниках существенно различается. Поэтому для правильного детектирования источников исследуемых газов используют критерий в виде отношения объемов эмитируемых NO_2 и SO_2 , т.е. NO_2/SO_2 .

Key words: gas flare, spectroradiometer, satellite control, trace gases, atmosphere

The article is received on: 19.04.2022

The article is admitted to publication on: 13.06.2022

It is well known that according to the Paris Agreement, in order to reduce carbon emissions into the atmosphere, measures should be taken to strictly control the volumes of hydrocarbon gas flared [1,2]. According to [3], such control can be carried out by organizing independent measurements of the concentrations in the atmosphere of trace gases emitted during the combustion of hydrocarbon natural gas. Measurements of the concentration of such trace gases as NO_2 , SO_2 , etc., in the atmosphere are currently carried out by both satellite [4, 5] and ground-based means [6].

The relevance of studying the content of these trace gases in the atmosphere lies in the fact that NO_2 and SO_2 are the main reactive trace gases, as well as the main sources of secondary aerosols and tropospheric ozone [7]. According to the results of the experimental studies, significant anomalies in the concentration of these trace gases are observed in oil and gas production zones [8]. As noted in [7], basically, NO_2 and SO_2 are emitted both during the combustion of associated hydrocarbon gas, and during the operation of diesel engines. The sulfur content in these two sources differs significantly. Therefore, for the correct detection of the sources of the studied gases, a criterion is used in the form of the ratio of the volumes of emitted NO_2 and SO_2 , i. e. NO_2/SO_2 .

The measurement results were obtained using a VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) scanning radiometer manufactured by Raytheon Company, operating in the visible and infrared ranges, and an on-board OMI (Ozone Monitoring Instrument) spectrometer. VIIRS is designed to monitor and study the changes in vegetation properties, land use, hydrological cycle and energy balance of the Earth and is installed on Suomi NPP and NOAA-206 satellites. The OMI onboard spectrometer is a wide-field scanning device operating in the range of 264–504 nm, installed on the Aura satellite (NASA).

The authors of this article consider the possibility of determining the volumes of SO_2 and NO_2 emissions into the atmosphere by comparing the

Результаты измерений были получены с помощью сканирующего радиометра VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) производства Raytheon Company, работающего в видимом и ИК-диапазонах, и бортового спектрометра OMI (Ozone Monitoring Instrument). VIIRS предназначен для мониторинга и исследования изменений в свойствах растительности, землепользования, гидрологического цикла и энергобаланса Земли и установлен на спутниках Suomi NPP и NOAA-20. Бортовой спектрометр OMI является широкообзорным сканирующим прибором, работающим в диапазоне 264–504 нм, установлен на спутнике Aura (NASA).

Авторами настоящей статьи рассматривается возможность определения объемов эмиссии SO_2 и NO_2 в атмосферу путем сопоставления результатов вычислений объема попутного газа, сжигаемого в факелах, выполненных различными методами. В работе [7] было показано, что значения объемов сжигаемого газа, вычисленные на основе результатов, полученных спектрометрией VIIRS, а также данных эмиссии SO_2 и NO_2 , полученных со спектрометра OMI, имеют неплохое совпадение.

На рис. 1 синяя и красная непрерывные линии, соединяющие результаты наблюдений с 2004 по 2018 годы, соответствуют объемам эмиссии SO_2 и NO_2 в атмосферу в эти годы. Зеленая пунктирная линия соответствует радиационному теплу, зафиксированному с помощью установленного на спутнике VIIRS, синяя пунктирная линия – некорректированным данным, касающимся объемов NO_2 . Данные VIIRS указаны начиная с 2012 года [7].

В те же годы изменились объемы произведенного попутного углеводородного газа и произведенной нефти (рис. 2).

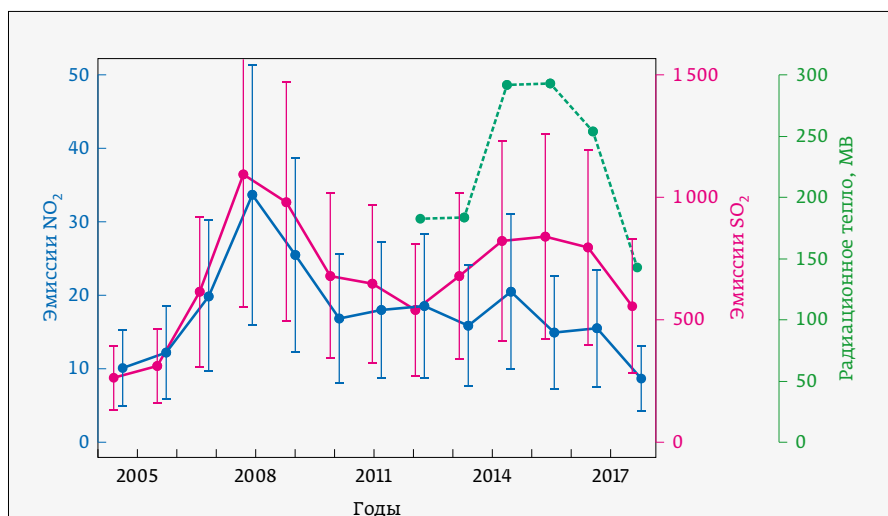


Рис. 1. Оценки годовых эмиссий SO_2 (красный) и NO_2 (синий) в Мексиканском заливе на основе данных OMI

Fig. 1. Estimates of annual emissions of SO_2 (red) and NO_2 (blue) in the Gulf of Mexico based on OMI data

results of calculations of the associated gas volume burned in flares performed by various methods. It was shown in [7] that the values of the volumes of the burned gas calculated on the basis of the results obtained by the VIIRS spectroradiometer, as well as

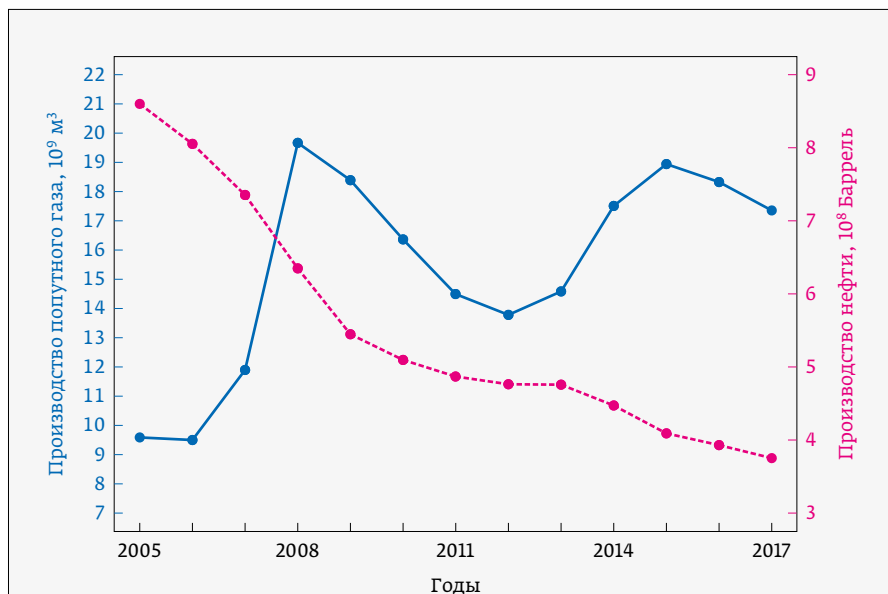


Рис. 2. Изменение объемов произведенного попутного углеводородного газа (непрерывная кривая) и произведенной нефти (пунктирная кривая)

Fig. 2. Changes in volumes of produced associated hydrocarbon gas (continuous curve) and produced oil (dotted curve)

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СПОСОБ

Рассмотрим возможность определения объемов сжигаемого попутного углеводородного газа в факелах с помощью ИК-тепловых измерений, используя бортовые ИК-камеры (радиометры), установленные на спутниках. Как отмечается в работе [7], на первом этапе спутниковых наблюдений факелов газа такие работы проводились с использованием сканирующего радиометра ATSR, установленного на борту спутников ERS-1; ERS-2; ENVISAT, а также спутников программы DMPS. В дальнейшем применялся спектро радиометр MODIS, а также широкополосный радиометр VIIRS, установленный на спутнике JRSS. В методике измерений VIIRS учитывается, что температуры в пределах 800–1200 К характерны для горения биомассы, а 1700–1800 К – для горения газа. По методике VIIRS, объемы сжигаемого газа (V) определялись по формуле:

$$V = 0,0281 \cdot RH, \quad (1)$$

где: RH – радиационное тепловое излучение, Вт. При этом V измеряется в млрд. кубических метров. Корреляционная зависимость между V и RH показана на рис. 3.

Показатель RH определяется по формуле:

$$RH = J \cdot S^D, \quad (2)$$

где: D – показатель нелинейной коррекции; J – поток радиационного тепла единицы поверхности (J определяется по уравнению Стефана-Больцмана: $J = \sigma \epsilon T^4$); ϵ – интегральная излучательная способность пламени; σ – постоянная Стефана-Больцмана; S – площадь поверхности пламени.

Площадь поверхности пламени определяется по формуле:

$$S = \frac{h_0}{h_d} \cdot M, \quad (3)$$

где: h_0 – максимальная величина на кривой Планка, соответствующей спектральной плотности излучения пламени (факела); h_d – максимальная отметка на шкале детектора, которая соответствует величине h_0 ; M – площадь изображения факела на чувствительном элементе детектора.

Что касается температуры факела T , то используется формула $T = b / \lambda_{\max}$, где: b – постоянная смещения Вина; $b = 2897,8 \text{ К} \cdot \text{мкм}$; λ_{\max} – длина волны, соответствующая длине волны максимальной радиационной эмиссии.

the data of SO_2 and NO_2 emissions obtained from the OMI spectrometer, have a good match.

In Fig. 1, the blue and red continuous lines connecting the results of observations from 2004 to 2018 correspond to the volumes of SO_2 and NO_2 emissions into the atmosphere in these years. The green dotted line corresponds to the radiation heat recorded using the VIIRS installed on the satellite, the blue dotted line corresponds to the uncorrected data concerning NO_2 volumes. VIIRS data are indicated starting from 2012 [7].

In the same years, the volumes of the associated hydrocarbon gas produced and the oil produced have changed (Fig.2).

THE PROPOSED METHOD

Let's consider the possibility of determining the volumes of the associated hydrocarbon gas burned in flares through IR thermal measurements using onboard IR cameras (radiometers) installed on the satellites. As noted in [7], at the first stage of the satellite gas flares observations, such work was carried out using the ATSR scanning radiometer installed on board the ERS-1; ERS-2; ENVISAT satellites, as well as the DMPS program satellites. In the future, the MODIS spectroradiometer was used, as well as the VIIRS broadband radiometer installed on the JRSS satellite. The VIIRS measurement method takes into account that temperatures in the range of 800–1200 K are specific to biomass burning, and

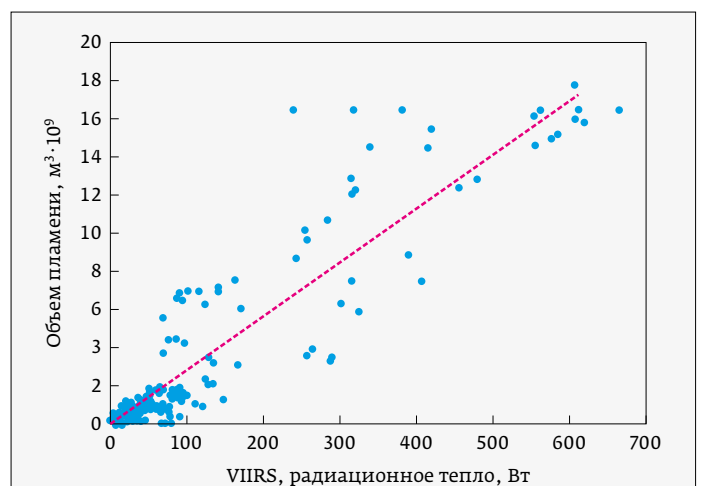


Рис. 3. Корреляционная зависимость между объемом сжигаемого попутного углеводородного газа в факелах (V) и радиационным тепловым излучением (RH)

Fig. 3. Correlation relationship between the volume of burning associated hydrocarbon gas in flares (V) and radiation heat radiation (RH)

Рассмотрим возможность определения объемов сжигаемого в факелах объема попутного углеводородного газа путем оценки объемов эмитируемого SO_2 и NO_2 в атмосфере.

Как сообщается в работе [7], существуют два независимых метода определения объема сжигаемого в факелах газа путем оценки эмиссий малых газов в атмосферу в качестве продуктов сжигания: метод на базе оценки эмиссии NO_2 и метод, основанный на оценке эмиссии SO_2 .

Принцип метода оценки на базе эмиссии NO_2 состоит в том, что высокотемпературное горение газа производит NO из N_2 , имеющегося в атмосфере. В течение несколько минут NO , взаимодействуя с O_3 , имеющимся в воздухе, создает NO_2 . При этом коэффициент эмиссии слабо зависит от диаметра сжигателя, скорости потока газа, состава газа. Существуют различные оценки коэффициента f_{NO_2} эмиссии NO_2 , которые находятся в пределах $1,35 < f_{\text{NO}_2} < 1,75$ (гр/м³). Если взять среднее значение коэффициента эмиссии этого газа $f_{\text{NO}_2} = 1,56 \pm 0,2$ гр/м³, то, согласно [7], объемы сжигаемого газа V_f можно вычислить по формуле:

$$V_f = \frac{E_{\text{NO}_2}}{f_{\text{NO}_2}}, \quad (4)$$

где: E_{NO_2} – объем эмиссии NO_2 .

Метод, основанный на оценке эмиссии SO_2 , опирается на такое явление, что при сжигании углеводородного природного газа в основном происходит эмиссия серного газа в виде H_2S . После окисления этого продукта возникает SO_2 . Таким образом, зная объемы эмиссии SO_2 , количество сжигаемого газа можно определить по формуле:

$$V_f = \frac{E_{\text{SO}_2} \cdot n_a}{\alpha_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}, \quad (5)$$

где: M_{SO_2} – молекулярный вес (64 гр/мол);
 n_a – молярный объем при STP (0,022 м³/мол);
 $\alpha_{\text{H}_2\text{S}}$ – отношение смешивания (mixing ratio) H_2S в ассоциированный газ.

Величина $\alpha_{\text{H}_2\text{S}}$ изменяется в пределах 1,2% – 2,6%. Точность оценок по формулам (1), (2) может достигать $\pm 40\%$ [10].

С учетом (4) и (5) определим критерий отношения измеренных величин E_{NO_2} и E_{SO_2} к факельному

1700–1800 K to gas burning. According to the VIIRS method, the volume of the gas burned (V) was determined by the formula.

$$V = 0.0281 \cdot \text{RH} \quad (1)$$

where: RH is the radiative heat emission, Watts. At the same time, V is measured in billions of cubic meters. The correlation between V and RH is shown in Fig. 3.

The RH indicator is determined by the formula:

$$\text{RH} = J \cdot S^D, \quad (2)$$

where: D is the indicator of nonlinear correction; J is the radiative heat flux of the surface unit (J is determined by the Stefan-Boltzmann equation: $J = \sigma \epsilon T^4$); ϵ is the integral emissivity of the flame; σ is the Stefan-Boltzmann constant; S is the surface area of the flame.

The flame surface area is determined by the formula:

$$S = \frac{h_0}{h_d} \cdot M, \quad (3)$$

where: h_0 is the maximum value on the Planck curve corresponding to the flame (flare) radiation spectral density; h_d is the maximum mark on the detector scale, which corresponds to the value of h_0 ; M is the area of the image of the flare on the sensitive element of the detector.

As for the temperature of the flare T , the formula $T = b/\lambda_{\text{max}}$ is used, where: b is the constant Wien displacement; $b = 2897.8$ K· μm ; λ is the wavelength corresponding to the wavelength of the maximum radiation emission.

Let's consider the possibility of determining the volume of the associated hydrocarbon gas burned in flares by estimating the volumes of SO_2 and NO_2 emitted into the atmosphere.

As reported in [7], there are two independent methods for determining the volume of gas burned in flares by assessing the emissions of trace gases into the atmosphere as combustion products: a method based on the assessment of NO_2 emissions and a method based on the assessment of SO_2 emissions.

The principle of the NO_2 emission-based estimation method is that high-temperature combustion of gas produces NO from N_2 present in the atmosphere. Within a few minutes, NO , interacting with the O_3 present in the air, creates NO_2 . At the same time, the emission coefficient weakly depends on



сжиганию попутного углеводородного газа. Из (4) получим:

$$E_{\text{NO}_2} = V_f \cdot f_{\text{NO}_2}. \quad (6)$$

Из (5) получим:

$$E_{\text{SO}_2} = \frac{V_f \cdot \alpha_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}{n_a}. \quad (7)$$

Тогда показатель γ_0 , который может быть использован в качестве критерия соответствия измеренных величин E_{NO_2} и E_{SO_2} к эмиссии газов, выделяющихся при сжигании попутного углеводородного газа в факелах примет вид:

$$\gamma_0 = \frac{E_{\text{NO}_2}}{E_{\text{SO}_2}} = \frac{f_{\text{NO}_2} \cdot n_a}{\alpha_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}. \quad (9)$$

С учетом вышеизложенного мы предлагаем следующий алгоритм измерения NO_2 и SO_2 и определения источника их эмиссии.

1. Определение с помощью пирометра, установленного на борту спутника, объема сжигаемого газа V_f .
2. Вычисление E_{NO_2} и E_{SO_2} с помощью формул (6) и (7) соответственно.
3. Определение $E_{\text{NO}_2}(\text{ОМІ})$ и $E_{\text{SO}_2}(\text{ОМІ})$ с помощью спектро радиометра ОМІ, установленного на спутнике.
4. Проверка отношения $E_{\text{NO}_2}(\text{ОМІ})/E_{\text{SO}_2}(\text{ОМІ}) = \gamma$ на выполнение критерия $\gamma = \gamma_0$.
 - Если $\gamma = \gamma_0$, то вычисленные значения E_{NO_2} и E_{SO_2} подтверждаются как объемы эмиссии газов, выделяемых при сжигании попутного углеводородного газа.
 - Если $\gamma \neq \gamma_0$, то вычисляется разница ΔE_{NO_2} и ΔE_{SO_2} , определяемая как:

$$\Delta E_{\text{NO}_2} = E_{\text{NO}_2} - E_{\text{NO}_2}(\text{ОМІ}), \quad (10)$$

$$\Delta E_{\text{SO}_2} = E_{\text{SO}_2} - E_{\text{SO}_2}(\text{ОМІ}). \quad (11)$$

Эти величины показывают, что источником эмиссии стали дизельные двигатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен способ определения объемов эмиссии газов NO_2 и SO_2 в атмосферу при сжигании попут-

the burner diameter, the gas flow rate, and the composition of the gas. There are various estimates of the coefficient f_{NO_2} of NO_2 emission, which are in the range of $1,35 < f_{\text{NO}_2} < 1,75$ (g/m^3). If we take the average value of the emission coefficient of this gas $f_{\text{NO}_2} = 1.56 \pm 0,2$ g/m^3 , then according to [7], the volumes of the burned gas V_f can be calculated by the formula

$$V_f = \frac{E_{\text{NO}_2}}{f_{\text{NO}_2}}, \quad (4)$$

where: E_{NO_2} is the volume of NO_2 emission.

The method based on the assessment of SO_2 emissions relies on the phenomenon that during the combustion of hydrocarbon natural gas, sulfurous gas is mainly emitted in the form of H_2S . After the oxidation of this product, SO_2 occurs. Thus, knowing the volume of SO_2 emissions, the amount of combustible gas can be determined by the formula:

$$V_f = \frac{E_{\text{SO}_2} \cdot n_a}{\alpha_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}, \quad (5)$$

where M_{SO_2} : is the molecular weight (64 g/mol);

n_a is the molar volume at STP STP

(0,022 m^3/mol);

$\alpha_{\text{H}_2\text{S}}$ is the mixing ratio of H_2S into the associated gas.

The value of $\alpha_{\text{H}_2\text{S}}$ varies within the range of 1.2% to 2.6%. The accuracy of the estimates according to the formulas (1), (2) can reach $\pm 40\%$ [10].

Taking into account (4) and (5), we determine the criterion of the ratio of the measured values E_{NO_2} and E_{SO_2} to the flaring of the associated hydrocarbon gas. From (4) we get:

$$E_{\text{NO}_2} = V_f \cdot f_{\text{NO}_2}. \quad (6)$$

From (5) we get:

$$E_{\text{SO}_2} = \frac{V_f \cdot \alpha_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}{n_a}. \quad (7)$$

Then the indicator γ_0 , which can be used as the fitting criterion of the measured values E_{NO_2} and E_{SO_2} to the emission of gases released during the flaring of the associated hydrocarbon gas, will take the form of:

$$\gamma_0 = \frac{E_{\text{NO}_2}}{E_{\text{SO}_2}} = \frac{f_{\text{NO}_2} \cdot n_a}{\alpha_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}. \quad (9)$$

Taking into account the above, we propose the following algorithm for measuring NO_2 and SO_2 and determining the source of their emission.



ного углеводородного газа. Для реализации предложенного способа может быть использован бортовой ИК-спектро радиометр и бортовой спектро радиометр типа OMI или любой иной аналогичный прибор. Исходные значения эмитируемых объемов NO_2 и SO_2 определяют, используя известные результаты вычислений объемов сжигаемого попутного углеводородного газа. Предварительно определяется выполнимость критерия соответствия измеренных величин E_{NO_2} и E_{SO_2} к эмиссии газов, выделяющихся при сжигании попутного углеводородного газа в факелах. По признакам принадлежности источников эмитируемых объемов NO_2 и SO_2 к факелу сжигания попутного углеводородного газа или к работе дизельных двигателей результаты измерений объемов NO_2 и SO_2 дадут вклад в мониторинг нефтегазопроизводственных зон, где наблюдаются существенные аномалии концентрации малых газов.

REFERENCES

1. Elvidge C., Zhizhin M., Baugh K., Hsu F., Ghosh T. Methods for global survey of natural gas flaring from visible infrared imaging radiometer suite data. *Energies*. 2016;9(1):14.
2. Elvidge C., Bazilian M., Zhizhin M., Baugh K., Hsu F., Ghosh T. The potential role of nature gas flaring in meeting greenhouse gas mitigation targets. *Energy Strategy Reviews*. 2018;20:156–162. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.12.012>.
3. Falkner R. The Paris agreement and the new logic of international climate politics. *International Affairs*. 2016; 92(5):1107–1125. <https://doi.org/10.1111/1468-2346.12708>.
4. Fioletov V., McLinden C., Krotkov N., Li C., Joiner J., Theys N. A global catalogue of large SO_2 sources and emissions derived from the ozone monitoring instrument. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016;16(18): 11497–11519. <https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016>.
5. Li C., Hsu N. C., Sayer A. M., Krotkov N. A., Fu J. S., Lamsal L. N. et al. Satellite observation of pollutant emissions from gas flaring activities near the Arctic. *Atmospheric Environment*. 2018;133: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.019>.
6. Gilman J. B., Lerner B. M., Kuster W. C., Gouw J. A. Source signature of volatile organic compounds from oil and natural gas operations in northeastern Colorado. *Environmental Science and Technology*. 2013;47(3): 1297–1305. <https://doi.org/10.1021/es304119a>.
7. Zhang Y., Gautam R., Zavala-Arazia D., Jacob D. J., Zhang R., Zhu L. et al. Satellite-observed changes in Mexico's offshore gas flaring activity linked to oil/gas regulations. *Geophysical Research Letters*. 2019;46:1879–1888. <https://doi.org/10.1029/2018GL081145>.
8. Majid A., Val Martin M., Lamsal L., Duncan B. A decade of changes in nitrogen oxides over regions of oil and natural gas activity in the United States. *Elementa Science of the Anthropocene*. 2017;5(0):76. <http://doi.org/10.1525/elementa.259>.
9. Ndunagu P. N., Joel O. F., Oji A. A. Comparative analysis of satellite and regulatory based gas flare volumes in the Niger delta region. *Nigerian Journal of Technological Development*. December. 2021; 18(4).

АВТОРЫ

Агаев Ф. Г., д. т. н., профессор, Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика.
ORCID: 0000-0002-9826-0868
Асадов И. Х., аспирант, Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика.
ORCID: 0000-0003-2535-3534

1. Determination by means of a pyrometer installed on board the satellite, of the volume of the burned gas V_f .
2. Calculation of E_{NO_2} and E_{SO_2} using formulas (6) and (7), respectively.
3. Determination of $E_{\text{NO}_2}(\text{OMI})$ and $E_{\text{SO}_2}(\text{OMI})$ using the OMI spectroradiometer installed on the satellite.
4. Checking the ratio $E_{\text{NO}_2}(\text{OMI})/E_{\text{SO}_2}(\text{OMI})=\gamma$ to fulfill the criterion $\gamma=\gamma_0$.
 - If $\gamma=\gamma_0$, then the calculated values of E_{NO_2} and E_{SO_2} are confirmed as the volumes of emissions of gases released during the associated hydrocarbon gas flaring.
 - If $\gamma\neq\gamma_0$, then the difference between ΔE_{NO_2} and ΔE_{SO_2} is calculated, to be determined as:

$$\Delta E_{\text{NO}_2} = E_{\text{NO}_2} - E_{\text{NO}_2}(\text{OMI}), \quad (10)$$

$$\Delta E_{\text{SO}_2} = E_{\text{SO}_2} - E_{\text{SO}_2}(\text{OMI}). \quad (11)$$

These values show that diesel engines have become the source of emissions.

CONCLUSION

A method for determining the volume of emissions of gases NO_2 and SO_2 into the atmosphere during the combustion of the associated hydrocarbon gas is proposed. To implement the proposed method, an on-board IR spectroradiometer and an on-board OMI-type spectroradiometer or any other similar device can be used. The initial values of the emitted volumes of NO_2 and SO_2 are determined using the known results of calculations of the volumes of associated hydrocarbon gas burned. The satisfiability of the fitting criterion of the measured values E_{NO_2} and E_{SO_2} to the emission of gases released during the flaring of the associated hydrocarbon is preliminarily determined. Based on belonging of the sources of emitted volumes of NO_2 and SO_2 to the associated petroleum gas flaring or to the operation of diesel engines, the results of measurements of the NO_2 and SO_2 volumes will give a contribution to the monitoring of the oil-and-gas production zones, where there are significant anomalies in the concentration of the trace gases.

THE AUTHORS

Агаев Ф. Г., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan.
ORCID: 0000-0002-9826-0868
Asadov I. H., postgraduate student, National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan.
ORCID: 0000-0003-2535-3534

24-27.10.2022

ТЕХНОФОРУМ



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.technoforum-expo.ru

«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



12+

ЭКСПОЦЕНТР